

**SISTEM NAVIGASI BERASASKAN ALGORITMA DIJKSTRA DI DALAM  
PERSEKITARAN TIGA DIMENSI**

**MUHAMAD UZNIR BIN UJANG**

**UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA**

### **Bahagian A – PENGESAHAN KERJASAMA\***

Adalah disahkan bahawa projek penyelidikan tesis ini telah dilaksanakan melalui kerjasama antara \_\_\_\_\_ dengan \_\_\_\_\_

Disahkan oleh:

Tandatangan : \_\_\_\_\_ Tarikh : \_\_\_\_\_

Nama : \_\_\_\_\_

Jawatan : \_\_\_\_\_  
(Cop rasmi)

*\* Jika penyediaan tesis/projek melibatkan kerjasama.*

---

### **bahagian b – UNTUK KEGUNAAN PEJABAT SEKOLAH PENGAJIAN SISWAZAH**

Tesis ini telah diperiksa dan diakui oleh:

Nama dan Alamat Pemeriksa Luar : **PROF. MADYA DR. NANNA SURYANA**  
**HERMAN**  
**Timbalan Dekan (Penyelidikan & Pengajian**  
**Siswazah)**  
**Fakulti Teknologi Maklumat dan Komunikasi**  
**Universiti Teknikal Malaysia Melaka**  
**Karung Berkunci 1200**  
**75450 AYER KEROH MELAKA**

Nama dan Alamat Pemeriksa Dalam : **PROF. MADYA MOHAMAD NOR SAID**  
**Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi**  
**Universiti Teknologi Malaysia**  
**81310 UTM Skudai**  
**JOHOR DARUL TA'AZIM**

Disahkan oleh Ketua Jabatan (Pengajian Siswazah):

Tandatangan : \_\_\_\_\_ Tarikh : \_\_\_\_\_

Nama : \_\_\_\_\_

SISTEM NAVIGASI BERASASKAN ALGORITMA DIJKSTRA DI DALAM  
PERSEKITARAN TIGA DIMENSI

MUHAMAD UZNIR BIN UJANG

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi  
syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Sains (Geoinformatik)

Fakulti Kejuruteraan Dan Sains Geoinformasi  
Universiti Teknologi Malaysia

JUN 2008

## DEDIKASI

*This thesis is dedicated to:*

*My lovely mum Kasmira, my dad Ujang,*

*My best ever sis Uraini,*

*And lastly to you Wafiah.*

*Thanks for your love and kindness,*

*This is for you.*

*With love,*

*Muhamad Uznir Ujang*

## **PENGHARGAAN**

Dengan nama Allah Yang Maha Pemurah dan Maha Penyayang, Selawat dan salam kepada junjungan besar Nabi Muhammad S.A.W, kaum keluarga baginda dan para-para sahabat baginda.

Penghargaan ditujukan kepada penyelia kajian, Profesor Madya Dr. Alias Abdul Rahman atas bimbingan dan tunjuk ajar yang diberikan. Bantuan yang diberikan sepanjang penyelidikan tesis ini dijalankan adalah amat dihargai. Terima kasih juga diucapkan kepada kakitangan FKSG yang terlibat secara langsung atau pun tidak dalam menjayakan penyelidikan ini.

Sumbangan dan pertolongan kalian amatlah dihargai dan penulis mengucapkan jutaan terima kasih di atas jasa baik kalian. Semoga Tuhan membalas jasa baik kalian, insyaAllah.

## ABSTRAK

Navigasi merupakan salah satu aspek yang penting bagi sesetengah bidang, contohnya seperti bidang pengangkutan perindustrian, bantuan kecemasan dan juga perancangan. Analisis rangkaian yang terdapat di dalam proses navigasi dapat menjimatkan kos pengangkutan, meminimakan kesan bencana atau kemalangan dan dapat memberikan keputusan yang tepat mengenai laluan yang terbaik bagi situasi-situasi tertentu. Algoritma Dijkstra merupakan antara algoritma yang digunakan di dalam analisis rangkaian dan telah terbukti keberkesanannya dalam pengiraan laluan yang terpendek bagi situasi yang melibatkan data dua dimensi (2D). Apabila melibatkan navigasi di dalam bangunan bertingkat, analisis rangkaian terhadap jaringan rangkaian tiga dimensi (3D) diperlukan. Sistem Maklumat Geografi (GIS) semasa masih tidak mampu melakukan analisis rangkaian laluan yang terpendek terhadap data 3D. Akibat daripada reka bentuk binaan dan bentuk muka bumi yang menjadi semakin kompleks untuk diuruskan, maka wujudnya permintaan daripada pengguna GIS terhadap pengurusan data 3D di dalam GIS. Oleh itu, kajian di dalam tesis ini adalah bertujuan untuk mengkaji kebolehlaksanaan algoritma Dijkstra bagi pengiraan laluan terpendek di dalam persekitaran 3D. Jaringan rangkaian navigasi 3D bagi model kawasan bangunan kajian dibina dan seterusnya diuji bersama-sama dengan algoritma Dijkstra. Hasil daripada analisis rangkaian tersebut dipersembahkan dengan menggunakan enjin permainan komputer (*3D State*) di dalam persekitaran objek spatial 3D dan seterusnya boleh melakukan navigasi di dalam persekitaran 3D tersebut (*Virtual Reality*) dengan menggunakan simulasi pergerakan manusia. Bagi mewujudkan persekitaran 3D yang lebih realistik, penggunaan tekstur sebenar bagi objek spatial kawasan kajian digunakan untuk memberikan kesan 3D bagi navigasi maya 3D yang dibina.

## **ABSTRACT**

Navigation is an important aspect in some areas such as industrial transportation, emergency navigation and also navigation planning. Network analysis in navigation process can minimize transportation cost, disaster or accident impact and also it can provide right decision for the best route in certain situations. Dijkstra's algorithm is one of the algorithms that could be used in network analysis process especially for 2D shortest route data. Network analysis for three-dimensional (3D) network is required when it involves navigation inside a multi-level building. Current Geographical Information System (GIS) is still not capable in performing shortest route network analysis for 3D data. The complexity of building and surroundings makes GIS users require a system that can manage the phenomenon in 3D environment. Therefore, it is the aim of this study to conduct a research about the Dijkstra's algorithm implementation for shortest path calculation in 3D environment. Hereby, the Dijkstra's algorithm is tested with the developed 3D navigation network inside the building model. The results from the network analysis will be shown by using 3D computer game engine (3D State) in the 3D spatial objects environment and navigation can be made inside the 3D environment (Virtual Reality) by simulating human movements. Real texture of the surroundings is incorporated into the navigation system to produce realistic 3D surroundings and to give more 3D effects for the 3D virtual navigation.

## **ISI KANDUNGAN**

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>ISI KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xii
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xxi
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xxii
 <b>1</b>	 <b>Pengenalan</b>	
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Penyataan Masalah	4
	1.3 Tujuan Kajian	6
	1.4 Objektif Kajian	7
	1.5 Skop Kajian	7
	1.6 Kepentingan Kajian	8
	1.7 Metodologi Kajian	9
	1.8 Struktur Ringkasan Tesis	11



## 2 KAJIAN LITERATUR

2.1	Pendahuluan Bab	13
2.2	Sistem Maklumat Geografi (GIS) 3 Dimensi	14
2.3	Objek Tiga Dimensi (3D)	16
2.4	Kemampuan Perisian GIS Semasa	18
2.5	Navigasi dan GIS	20
2.6	Algoritma Dijkstra	21
2.7	Pembangunan GIS 3D	22
2.7.1	Enjin Grafik	23
2.7.2	Enjin Grafik <i>3D State</i>	25
2.8	Kajian Berkaitan	27

## 3 KONSEP ALGORITMA DIJKSTRA

3.1	Pendahuluan Bab	34
3.2	Aplikasi Algoritma Dijkstra	35
3.3	Algoritma Laluan Optima ( <i>Optimum Path Algorithm</i> )	37
3.3.1	Teknik Penyelidikan Operasi	38
3.3.1.1	Masalah Laluan Terpendek	41
3.3.1.1.1	<i>Acyclic Algorithm</i>	42
3.3.1.1.2	<i>Cyclic (Dijkstra Algorithm)</i>	45
3.3.2	Analisa Rangkaian ( <i>Network Analysis</i> )	47
3.4	Perincian Prosidur Algoritma Dijkstra	51
3.5	Pengimplementasian Algoritma Dijkstra Di Dalam Persekitaran 3D	54

## **4 REKA BENTUK SISTEM NAVIGASI**

4.1	Pembangunan Analisis Rangkaian (3 Dimensi)	59
4.2	Fasa Permulaan	60
4.3	Fasa Pembangunan	61
4.3.1	Kajian Keperluan	63
4.3.2	Reka Bentuk Dalaman	64
4.3.3	Perkakasan Komputer	69
4.3.4	Model Bangunan 3D	70
4.3.4.1	Pendigitan Pelan Lantai	70
4.3.4.2	Reka Bentuk Model Bangunan 3D	79
4.3.4.3	Reka Bentuk Model Objek 3D	88
4.3.4.4	Tekstur Model Bangunan dan Objek-objek 3D	96
4.3.5	Jaringan Rangkaian 3D	99
4.3.6	Pengaturcaraan	102
4.3.6.1	<i>Converter</i>	103
4.3.6.2	<i>Topology</i>	105
4.3.6.3	<i>Attribute</i>	106
4.3.6.4	Aplikasi Utama	107
4.3.7	Pengujian	108
4.4	Rumusan	108

## **5 ANALISIS DAN KEPUTUSAN KAJIAN**

5.1	Pendahuluan Bab	110
5.2	Jaringan Rangkaian 3 Dimensi	112
5.3	Antara Muka <i>Converter</i>	112

5.3.1	Menu <i>File</i>	113
5.3.2	Menu <i>Tools</i>	116
5.3.3	Menu <i>Help</i>	118
5.4	Antara Muka <i>Topology</i>	119
5.4.1	Menu <i>File</i>	120
5.4.2	Menu <i>Tools</i>	123
5.4.3	Menu <i>Help</i>	124
5.5	Antara Muka <i>Attribute</i>	125
5.5.1	Menu <i>File</i>	126
5.5.2	Menu <i>Edit</i>	128
5.5.3	Menu <i>Find</i>	134
5.5.4	Menu <i>Help</i>	135
5.6	Paparan dan Penukaran Format bagi Model 3D Bangunan FKSG	137
5.7	Aplikasi Utama	139
5.8	Analisis Rangkaian 3D	160
5.9	Rumusan	169

## **6 KESIMPULAN DAN CADANGAN**

6.1	Pendahuluan Bab	170
6.2	Kesimpulan dan Ulasan	170
6.3	Masalah yang Dihadapi	172
6.4	Cadangan	174
6.4.1	Algoritma Kajian	174
6.4.2	Enjin Grafik 3D	175
6.4.3	Integrasi Analisis Rangkaian 3D dengan Perisian-perisian GIS	175

6.4.4 Paparan Navigasi 3D Pada Alat-alat Mudah Alih	176
--	-----

<b>RUJUKAN DAN BIBLIOGRAFI</b>	177
--------------------------------	-----

<b>LAMPIRAN A - J</b>	182 - 234
-----------------------	-----------

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Contoh paparan ArcGlobe	19
2.2	Contoh paparan 3D menggunakan ArcGIS <i>3D Analyst</i>	20
2.3	Contoh pengaturcaraan enjin grafik menggunakan bahasa Visual Basic	26
2.4	Model 3 dimensi bandar Hamburg	27
2.5	Kawasan kajian (Florida Keys) bagi kajian <i>Agent-Based Modeling and Analysis of Hurricane Evacuation Procedures for the Florida Keys</i> (Chen et al., 2005)	29
2.6	Struktur <i>Evacuation Path</i> (M. Meijers <i>et al.</i> , 2005)	30
2.7	Jalan terpendek daripada balai bomba ke tempat bencana (Kwan <i>et al.</i> , 2003)	32
3.1	Contoh rangkaian yang mengandungi 5 nod dan juga 8 arka.	39
3.2	Rangkaian bersambung	40
3.3	Rangkaian bersambung (Merentang)	41
3.4	Contoh rangkaian yang mewakili kedudukan bandar	43
3.5	Laluan terpendek daripada nod 1 ke nod 7	44
3.6	Contoh rangkaian bagi pengiraan algoritma Cyclic	45

3.7	Hasil pengiraan algoritma Cyclic	47
3.8	Contoh rangkaian bagi pengiraan algoritma Dijkstra	48
3.9	<i>Spanning Tree</i>	50
3.10	Contoh rangkaian yang mengandungi 7 nod dan juga 9 arka	51
3.11	Hasil akhir pengiraan algoritma Dijkstra dalam bentuk <i>Spanning Tree</i>	54
3.12	Perbezaan kedudukan nod A ( $x_1, y_1, z_1$ ) dan nod B ( $x_2, y_2, z_2$ )	57
4.1	Carta alir menunjukkan hasil bagi setiap dua fasa yang pertama bagi sesebuah sistem maklumat. Teks yang ditunjukkan dalam <i>Italics</i> merujuk kepada pengembalian ke fasa yang sebelumnya hanya jika perlu sahaja (Sumber: Steven, 2002).	60
4.2	Fasa Pembangunan dan aktiviti-aktiviti yang berkaitan dengannya	62
4.3	Carta alir ringkas aplikasi yang direka bentuk	65
4.4	Lakaran kasar paparan antara muka bagi navigasi	66
4.5	Imej yang diimbas dimasukkan sebagai rujukan bagi proses pendigitan.	71
4.6	Proses mencantumkan imej menggunakan arahan <i>Align</i>	72
4.7	Ketiga-tiga imej pelan lantai yang dicantumkan menjadi satu pelan bagi satu aras	73
4.8	Proses pendigitan pelan lantai (ketebalan dinding)	74
4.9	Hasil pendigitan entiti ruang bilik dan lantai bagi satu aras	75

4.10	Pembetulan kesalahan bagi keseluruhan hasil pendigitan dengan menggunakan arahan <i>Drawing Cleanup</i>	76
4.11	Proses penganjakkan dilakukan bagi data digital pelan	77
4.12	Proses penskalaan data digital pelan	78
4.13	Proses pembetulan herotan pada pelan lantai digital	79
4.14	Menu <i>Select File to Import</i>	80
4.15	<i>Import Options (Geometry Tab)</i>	81
4.16	<i>Import Options (Layers Tab)</i>	82
4.17	<i>Import Options (Spline Rendering Tab)</i>	82
4.18	Menu <i>transform</i>	83
4.19	<i>Properties box (Selection)</i>	84
4.20	Penggunaan <i>element</i> bagi reka bentuk model	85
4.21	Fungsi <i>Extrude</i> bagi membentuk dinding bangunan	86
4.22	Dinding bangunan dihasilkan menggunakan fungsi <i>Extrude</i>	87
4.23	Dinding bangunan dan lantai yang telah siap dibentuk	88
4.24	Pilihan <i>Stairs</i> untuk mereka bentuk tangga	89
4.25	Reka bentuk tangga menggunakan fungsi reka bentuk <i>U Type Stair</i> yang tersedia di dalam perisian	90
4.26	Nilai parameter yang boleh diubah bagi menghasilkan sebuah tangga mengikut jenis tangga yang dikehendaki pengguna	91
4.27	Tangga yang telah siap direka bentuk	92
4.28	Koridor yang telah siap direka bentuk	92
4.29	Hasil reka bentuk ukiran yang terdapat pada bumbung bangunan FKSG	93

4.30	Hasil reka bentuk ukiran yang terdapat pada bumbung bangunan FKSG serta gabungan beberapa objek geometri yang lain bagi membentuk model bumbung untuk digunakan dengan model bangunan yang sebenar	94
4.31	Hasil keseluruhan reka bentuk ukiran dan bumbung bangunan FKSG	95
4.32	Pondok wakaf	95
4.33	Bangku kayu di Dataran Harmonis (C06)	96
4.34	Beberapa tekstur sebenar bagi objek spatial 3D yang telah disunting untuk memperbetulkan herotan, warna, dan sebagainya bagi kegunaan permodelan model 3D bangunan kajian	98
4.35	Contoh model aras bangunan yang dibuka di dalam CAD	100
4.36	Rangkaian 3D bagi aras 1 yang diwarnakan dengan warna ungu yang ditunjukkan secara pandangan Planimetri (atas) dan pandangan Perspektif (bawah)	101
4.37	Carta alir sub-sub aktiviti dalam aktiviti pengaturcaraan	102
4.38	Contoh bentuk data rangkaian yang disimpan di dalam komputer ( <i>AutoCAD Drawing</i> )	104
4.39	Contoh rangkaian (asas)	105
4.40	Format Pangkalan Data MW	107
5.1	Carta alir bagi kedudukan kefungisian program-program yang dibina dan juga aplikasi utama	111
5.2	Antara muka bagi program <i>Converter</i>	113



5.3	Fungsi <i>Load</i> yang digunakan untuk mencari dan membuka fail jaringan rangkaian 3D	114
5.4	Fail jaringan rangkaian 3D yang telah dibuka di dalam program	114
5.5	Fungsi <i>Save As</i>	115
5.6	Menu <i>Tools</i>	116
5.7	Analisis yang boleh dilakukan	116
5.8	<i>View Coordinates</i>	117
5.9	<i>Build MWraw file</i>	118
5.10	Fungsi About memaparkan maklumat berkaitan dengan tujuan <i>Converter</i> dibina	119
5.11	Antara muka <i>Topology</i>	120
5.12	Fungsi-fungsi yang terdapat pada menu <i>File</i>	121
5.13	Tetingkap pertanyaan bagi automasi pembinaan topologi	121
5.14	Tetingkap <i>Open MWraw File</i>	122
5.15	Tetingkap <i>Save As</i> fail MW Database (*.MW)	123
5.16	Menu <i>Tools</i> dan Sub Menu <i>Tools</i>	124
5.17	Tetingkap <i>MW Database file</i>	124
5.18	Tetingkap <i>About</i> bagi program <i>Topology</i>	124
5.19	Antara muka program <i>Attribute</i>	125
5.20	Sub-menu bagi menu <i>File</i>	127
5.21	Fungsi <i>Load</i>	127
5.22	Sub-menu pada menu <i>Edit</i>	128
5.23	Fungsi <i>Start Editing</i> tidak diaktifkan	129
5.24	Tetingkap <i>Insert Attribute – Step 1</i> digunakan untuk memasukkan maklumat nama blok	129
5.25	Tetingkap <i>Insert Attribute – Step 2</i> digunakan untuk memasukkan maklumat aras	130

5.26	Tetingkap <i>Insert Attribute – Step 3</i> digunakan untuk memasukkan maklumat nombor bilik	130
5.27	Tetingkap <i>Insert Attribute – Step 4</i> digunakan untuk memasukkan maklumat nama bilik	131
5.28	Contoh nod yang tiada atau pun tidak dimasukkan maklumat atribut	131
5.29	Contoh nod telah dimasukkan maklumat atribut	132
5.30	Tetingkap <i>Save As</i> dipaparkan apabila fungsi <i>Stop Editing</i> diklik	133
5.31	Tetingkap ini dipaparkan untuk menyimpan maklumat atribut yang telah dimasukkan	133
5.32	Sub-menu <i>Search Phrase</i> di bawah menu <i>Find</i>	134
5.33	Tetingkap <i>Find</i>	134
5.34	Hasil pencarian menggunakan fungsi <i>Find</i>	135
5.35	Fungsi sub menu <i>About</i> pada menu <i>Help</i>	136
5.36	Butang arahan untuk navigasi data	136
5.37	Paparan imej model 3D FKSG mengikut blok-blok	138
5.38	Paparan <i>splash screen</i> pada permulaan aplikasi	139
5.39	Antara muka utama aplikasi	140
5.40	Fungsi yang diklik akan bertukar warna tulisan	141
5.41	Paparan bagi fungsi <i>FKSG Base Plan</i>	142
5.42	<i>Cursor</i> diarahkan ke tulisan C02 dan imej model 3D blok C02 dipaparkan	143
5.43	Paparan imej <i>snapshot</i> model 3D bagi fungsi <i>3D Screenshot</i>	144

5.44	Butang navigasi bagi melihat imej-imej <i>snapshot</i>	144
5.45	Butang arahan <i>Flythrough</i>	145
5.46	Paparan fungsi arahan <i>Flythrough</i>	145
5.47	Paparan antara muka <i>3D Navigation</i>	146
5.48	Konfigurasi pangkalan data bagi kegunaan aplikasi	147
5.49	Arahan <i>Open</i> digunakan untuk mencari fail rangkaian atau model 3D	148
5.50	Tetingkap <i>Open File</i> dipaparkan untuk mencari fail rangkaian 3D dan model spatial 3D	148
5.51	Arahan <i>Save Setting</i> diaktifkan selepas data yang baru disetkan di dalam paparan <i>Database</i> ini	149
5.52	Tetingkap informasi untuk menyatakan set data yang baru telah dimasukkan ke dalam aplikasi utama	149
5.53	Fungsi <i>Shortest Path</i>	150
5.54	Sebahagian nama-nama yang terdapat di dalam <i>drop down list</i>	151
5.55	Fungsi <i>Search</i> untuk mencari maklumat atribut secara <i>filtering</i>	151
5.56	Aras yang di ' <i>filter</i> 'kan berdasarkan nama blok	152
5.57	Nombor bilik yang di ' <i>filter</i> 'kan berdasarkan nama blok dan aras	153
5.58	Nama bilik yang di ' <i>filter</i> 'kan berdasarkan nama blok, aras dan nombor bilik	153
5.59	Fungsi <i>Acquire</i> pada paparan <i>Search</i>	154

5.60	Fungsi <i>Acquire</i> yang memindahkan maklumat pada paparan <i>Search</i> ke medan nama staff/bilik paparan <i>Shortest Path</i>	154
5.61	Amaran yang dipaparkan kerana syarat utama bagi fungsi <i>Calculate</i> tidak dipenuhi	155
5.62	Paparan statistik pengiraan algoritma Dijkstra	156
5.63	Arahan <i>Navigate</i> dan <i>Cancel</i>	158
5.64	Paparan Navigasi 3D	159
5.65	Paparan bagi fungsi <i>About</i>	160
5.66	Konfigurasi set data yang digunakan adalah penting sebelum melakukan analisis rangkaian 3D	161
5.67	Lokasi semasa disetkan <i>Satellite Navigation Research Group (SNAG)</i> dan lokasi destinasi disetkan <i>Hydro I and Hydro II Lecture Room</i> sebelum melakukan pengiraan analisis rangkaian 3D	162
5.68	Statistik pengiraan algoritma Dijkstra hasil daripada pengiraan laluan yang terpendek daripada bilik <i>Satellite Navigation Research Group (SNAG)</i> ke lokasi destinasi iaitu bilik <i>Hydro I and Hydro II Lecture Room</i>	163
5.69	Paparan graf hasil pengiraan algoritma Dijkstra	164
5.70	Lokasi awal disetkan di lokasi semasa yang ditetapkan pengguna pada permulaan analisis iaitu di bilik <i>Satellite Navigation Research Group (SNAG)</i>	165
5.71	Lokasi destinasi ( <i>Hydro I and Hydro II Lecture Room</i> ) akan ditandakan dengan OK bagi menunjukkan pengguna telah tiba ke lokasi destinasi	166

5.72	Anak panah yang terdapat pada papan kekunci	166
5.73	Tetingkap informasi mengenai maklumat asas navigasi	167
5.74	Peta 2D menunjukkan pandangan plan ( <i>Plan View</i> )	168

## SENARAI SINGKATAN PERKATAAN

GIS	Sistem Maklumat Geografi
2D	Dua Dimensi
3D	Tiga Dimensi
4D	Empat Dimensi
GIS 3D	Sistem Maklumat Geografi Tiga Dimensi
SDK	<i>Software Development Kit</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>
FKSG	Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi
UTM	Universiti Teknologi Malaysia
PIRR	<i>Photo realistic Interactive Real-Time Rendering</i>
SIS	<i>Spatial Information System</i>
GIERS	<i>GIS-based intelligent emergency response system</i>
EMIS	<i>Emergency management information systems</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
LOD	<i>Level of Details</i>
RSO	<i>Rectified Skew Orthomorphic</i>

## SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Pelan Lantai Bangunan Kajian	182
B	Tekstur yang Digunakan pada Model Bangunan 3D Kajian	194
C	Carta alir program <i>Converter</i>	199
D	Contoh Pengaturcaraan Bagi Program <i>Converter</i>	200
E	Carta alir program <i>Topology</i>	206
F	Contoh Pengaturcaraan Bagi Program <i>Topology</i>	207
G	Carta alir program <i>Attribute</i>	217
H	Contoh Pengaturcaraan Bagi Program <i>Attribute</i>	218
I	Contoh Pengaturcaraan Program Utama	233
J	Carta alir program Aplikasi Utama (pengiraan laluhan terpendek)	234

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Di antara keistimewaan Sistem Maklumat Geografi (GIS) ialah kemampuannya untuk melakukan analisis spatial terhadap entiti seperti poligon, garisan dan juga titik (*polygon/line/point analysis*). GIS juga mampu untuk melakukan pengiraan statistik berdasarkan entiti-entiti spatial yang terdapat di muka bumi (geografi). Selain itu, fungsi utama GIS yang lain ialah ianya dapat menghubungkan maklumat spatial dengan maklumat-maklumat bukan spatial (atribut). Ciri-ciri ini tidak boleh dilakukan oleh mana-mana sistem yang lain. Sebagai contoh, dengan menggunakan GIS, maklumat spatial seperti peta gunatanah dapat dihubungkan dengan maklumat-maklumat (rekod-rekod) yang berkaitan dengan peta gunatanah tersebut seperti jenis kegiatan yang dilakukan terhadap tanah tersebut, keluasan tanah, nombor lot, nama pemilik, perkadaran cukai yang ditetapkan dan sebagainya.

Kemampuan GIS ialah ianya dapat mempercepatkan proses kerja/tugas manual yang pada sebelum ini memerlukan masa yang agak lama. GIS juga dapat



menyediakan atau menyimpan maklumat-maklumat geografi dalam bentuk yang teratur supaya ianya lebih mudah difahami dan juga lebih mudah untuk dicapai.

Namun begitu, apabila bentuk muka bumi menjadi semakin kompleks untuk diuruskan dan tambahan pula kemampuan teknologi berubah dari hari ke hari, keperluan terhadap GIS ini semakin meningkat. Binaan dan teknologi canggih seperti laluan jalanraya bertingkat, bangunan berkembar, laluan terowong bawah tanah dan perancangan bagi kawasan yang padat memerlukan kefungisian tambahan bagi GIS yang sedia ada. Terdapat juga beberapa usaha daripada sesetengah pihak dalam membangunkan fungsi atau pun aplikasi bagi menyelesaikan permasalahan tersebut. Akan tetapi, kebanyakan usaha bagi setiap permasalahan yang dilakukan adalah berdasarkan "*task oriented*". Namun begitu, persoalan yang boleh ditanya ialah adakah pendekatan tersebut menyelesaikan permasalahan GIS dan memenuhi kehendak pengguna GIS secara menyeluruh?

Analisis spatial merupakan salah satu kelebihan atau pun "*tools package*" yang hadir bersama-sama dengan GIS. Akan tetapi, telah dinyatakan sebelum ini, akibat daripada keperluan pengguna GIS yang semakin meningkat, berlaku satu evolusi yang menghendaki GIS mengendalikan data yang berasaskan 3 dimensi (3D). 3D di sini bermaksud data yang mempunyai 3 elemen asas koordinat iaitu x, y dan z di dalam maklumat spatialnya. Ketiga-tiga elemen ini hendaklah digunakan atau pun diaplikasikan ke dalam GIS sebagaimana ia digunakan di dalam dunia yang sebenar. Pengguna boleh melakukan sebarang pertanyaan dan juga analisis yang berkaitan terhadap ketiga-tiga elemen tersebut. Sebagai contoh, bagi kes jalanraya bertingkat, pengguna boleh memilih untuk melakukan analisis terhadap jalan yang berada di atas atau pun jalanraya yang terdapat di bahagian bawah. Ini tidak bermakna bahawa "*tools package*" yang hadir bersama-sama GIS untuk ketika ini tidak lengkap, akan tetapi perkara atau pun situasi seperti ini timbul akibat daripada reka bentuk objek spatial yang dibina semakin kompleks.

Apa yang mampu dilakukan oleh pakej GIS yang sedia ada sekarang ialah analisis terhadap data yang berbentuk 2 dimensi (2D) sahaja. Terdapat juga beberapa “*extension*” tambahan yang dibina untuk digunakan bersama perisian-perisian GIS yang sedia ada untuk menganalisis data-data yang berasaskan 3D. Akan tetapi “*extension*” tersebut mempunyai limitasi-limitasi yang tertentu. Namun begitu menurut pendapat penyelidik-penyelidik GIS yang menyatakan bahawa kebanyakan kes yang berlaku sekarang ini, contohnya bagi kawasan bandar yang menggunakan GIS, evolusi ke arah objek 3D adalah sangat perlahan. Ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor. Di antaranya ialah cara pemikiran sesetengah pihak terhadap GIS 2D. Sebagai contoh, bagi data kadaster; proses evolusi kepada 3D bagi data kadaster 2D yang sedia ada adalah dengan kaedah menggunakan “*extensions*” untuk mewujudkan bentuk 3D bagi data kadaster tersebut. Walaupun produk yang dihasilkan agak memuaskan, akan tetapi pendekatan yang dilakukan itu tidak lengkap dan juga terdapat had-had yang tertentu contohnya seperti analisis dalam persekitaran 3D itu sendiri. Oleh itu, apa yang paling kritikal di sini ialah analisis spatial 3D yang berfungsi sebagai salah satu “*tool*” bagi model 3D, lihat Billen *et al* (2001).

Analisis spatial 3D merupakan sesuatu yang masih lagi di dalam peringkat kajian. Bagi memenuhi keperluan ini, pelbagai kajian atau perkara perlu diambil kira secara menyeluruh bagi melengkapkannya di dalam bidang GIS. Analisis spatial 2D yang sedia ada terbahagi kepada beberapa kategori. Contohnya analisis spatial yang asas seperti *Buffer* (penimbal), *Join* (cantum), dan *Overlay* (tindihan). Namun begitu terdapat juga analisis spatial yang lain seperti analisis permukaan (*surface analysis*) dan analisis rangkaian (*network analysis*). Bagi analisis rangkaian, di antara analisis yang dilakukan ialah pencarian laluan yang terpendek di antara dua lokasi. Contohnya seperti pencarian laluan yang terpendek/terbaik bagi pelancong untuk ke sesebuah restoran daripada hotel. Hasil daripada analisis seperti ini dapat membantu individu tersebut dalam melakukan navigasi dengan menjimatkan masa atau pun kos pengangkutan.

Namun begitu, implementasi analisis pada persekitaran 3D adalah berbeza. Analisis rangkaian yang menggunakan rangkaian 2D bersama-sama dengan maklumat permukaan 3D (*Digital Terrain Model*) tidak melibatkan pengiraan analisis rangkaian 3D. Perbezaannya tidak ketara jika analisis tersebut masih menggunakan rangkaian 2D (data geografi 2D). Akan tetapi, bagi situasi bangunan bertingkat, pastinya rangkaian 3D perlu digunakan. Lazimnya, pengiraan yang dilakukan untuk mencari laluan terpendek/terbaik di dalam analisis rangkaian 2D menggunakan algoritma matematik yang khusus berdasarkan situasi yang terlibat. Di antara algoritma yang digunakan dan terbukti berkesan dalam pengiraan laluan terpendek/terbaik ialah algoritma Dijkstra, DKD, *Graph Growth* dan juga *Genetic*. Bagi mengaplikasikan algoritma-algoritma ini ke atas jaringan rangkaian 3D, kajian yang terperinci perlu dilakukan.

Terdapat beberapa rumusan yang boleh dibuat daripada perbincangan yang telah dilakukan. Di antaranya ialah, GIS perlu menguruskan data 3D di masa yang mendatang. Pengguna kini semakin bijak, mereka menghendaki analisis-analisis yang boleh dilakukan terhadap data geografi 3D. Permintaan daripada pengguna GIS dan ditambah pula dengan rupa bentuk muka bumi dan binaan manusia yang semakin kompleks pada masa sekarang ini menyebabkan perlunya satu GIS yang dapat menyokong analisis 3D untuk membantu pengguna dalam melakukan tugas-tugas seharian.

## **1.2     Pernyataan Masalah**

Lanjutan daripada perbincangan yang dilakukan di seksyen 1.1, dirumuskan bahawa perkara yang kritikal pada masa ini ialah di antaranya masih kurang analisis-analisis yang boleh dilakukan di dalam persekitaran GIS 3D. Kajian-kajian ke arah menghasilkan struktur analisis GIS 3D adalah perlu bagi memenuhi kehendak pengguna-pengguna GIS di masa akan datang.

Dari segi pengimplementasian algoritma Dijkstra, kebanyakannya diimplementasikan terhadap permukaan 2D dan ini adalah berdasarkan kajian-kajian penyelidik sebelum ini (Cherkassy *et al.*, 1991), (Zhan, 2001), (Eklund, 1993). Kemampuan algoritma Dijkstra dalam menyelesaikan permasalahan “*shortest path*” telah terbukti di dalam kajian-kajian terdahulu (Shad *et al.*, 1998), (Sherlock *et al.*, 1999), (Semanta *et al.*, 2005). Namun begitu, kajian mengenai analisis terhadap permukaan 3D masih kurang dan perlu dijalankan penyelidikan dan kajian berkaitan. Beberapa kajian terdahulu mengenai GIS 3D telah pun dilakukan oleh beberapa penyelidik seperti Meijers *et al.* (2005), Kwan *et al.* (2003), dan Kirkby *et al.* (1996).

Meijers *et al.* melakukan kajian mengenai struktur bagi bangunan bertingkat untuk diimplementasikan di dalam GIS yang berasaskan 3D supaya satu struktur yang piawai dapat dibina untuk proses “*evacuation*” bagi bangunan yang bertingkat. Kwan *et al.* pula melakukan kajian mengenai potensi untuk membina satu sistem kecemasan bagi bangunan bertingkat (kawasan mikro-spatial) secara *real-time*, dan Kirkby *et al.* mengkhususkan kajiannya terhadap pengimplementasian algoritma untuk mencari jalan terpendek di dalam persekitaran 3D bagi tujuan visualisasi (*drive/flythrough*).

Di dalam kajian-kajian ini turut dinyatakan penggunaan algoritma Dijkstra untuk mencari “*shortest route*”. Kesemua kajian ini tertumpu kepada pembinaan seperti struktur laluan bagi proses “*evacuation*”, mengkaji potensi untuk mewujudkan sistem kecemasan bagi bangunan 3D dan bagi Kirkby *et al.* pengkhususan 3D hanyalah kepada tujuan navigasi kenderaan dan tidak tertumpu kepada bangunan bertingkat. Manakala, kajian mengenai algoritma Dijkstra khususnya kepada pengimplementasiannya kepada permasalahan bangunan bertingkat berdasarkan struktur dan model 3D adalah masih kurang dan perlu diberikan tumpuan. Berdasarkan daripada permasalahan dan cadangan tersebut, penekanan di dalam kajian tesis ini adalah untuk mengimplementasikan algoritma Dijkstra ini ke dalam jaringan di dalam bangunan bertingkat. Fungsi algoritma adalah untuk mencari laluan terpendek/terdekat (*shortest route*) dari satu lokasi ke lokasi yang lain (lokasi destinasi) dalam persekitaran 3D. Bagi tujuan paparan 3D,

enjin komputer 3D (*3D State*) digunakan sebagai alat visualisasi dan navigasi 3D. Menurut Kirkby *et al.*(1996), kelebihan bagi pengimplementasian algoritma “*shortest path*” secara grafik di dalam persekitaran 3D ialah ia memudahkan pemahaman pengguna terhadap hasil pengiraan “*shortest path*” tersebut dan seterusnya dengan adanya kajian lanjutan yang berkaitan mengenai kajian seperti ini akan menghasilkan senario model 3D yang lebih realistik bagi GIS.

GIS sebenarnya memerlukan kajian-kajian lanjutan yang berkaitan dengan 3D. Kajian-kajian tersebut perlu merangkumi beberapa aspek penting, antaranya seperti permodelan data 3D, topologi 3D, pangkalan data 3D dan juga analisis terhadap data yang berbentuk 3D. Pendekatan analisis rangkaian terhadap persekitaran 3D di dalam tesis ini amat berguna bagi bidang-bidang yang tertentu seperti pengurusan bencana, pengurusan bangunan, dan juga navigasi-navigasi yang memerlukan maklumat 3D. Algoritma Dijkstra terbukti berjaya dari segi implementasinya terhadap data-data GIS yang berbentuk 2D. Oleh itu, kajian di dalam tesis ini menjurus kepada mengaplikasikan algoritma Dijkstra terhadap data yang berasaskan 3D. Analisis “*shortest path*” yang selama ini hanya dapat dilakukan terhadap data 2D, diimplementasikan terhadap data 3D dan seterusnya pengimplementasian tersebut akan diadaptasikan terhadap kawasan persekitaran model bangunan 3D.

### **1.3 Tujuan Kajian**

Tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk mengimplementasikan algoritma Dijkstra ke atas jaringan rangkaian 3D di dalam bangunan. Seterusnya, enjin komputer 3D digunakan sebagai alat bagi tujuan navigasi dan paparan hasil pengiraan algoritma di dalam persekitaran 3D.

## **1.4 Objektif Kajian**

Berdasarkan tujuan kajian yang dikhususkan, beberapa objektif telah dikenal pasti, iaitu:

- i. Mengkaji keperluan algoritma Dijkstra dari segi implementasinya terhadap analisis rangkaian dalam persekitaran 3D,
- ii. Mengimplementasikan algoritma tersebut ke dalam persekitaran 3D dengan menggunakan enjin komputer 3D.

## **1.5 Skop Kajian**

Skop kajian merangkumi kawasan kajian, algoritma serta tumpuan utama analisis adalah seperti berikut:

- i. Berdasarkan cadangan kajian yang terdahulu, algoritma Dijkstra dipilih sebagai analisis rangkaian yang terlibat dalam kajian ini. Algoritma ini digunakan bertujuan untuk mengira jarak terpendek di antara dua lokasi di dalam persekitaran 3D. Ianya dipilih berdasarkan kemampuan pengiraannya berdasarkan jumlah nod yang terlibat dalam kajian. Penekanan diberikan terhadap kaedah pengimplementasian algoritma tersebut terhadap jaringan rangkaian 3D dengan menggunakan pendekatan GIS.
- ii. Model digital bangunan 3D yang digunakan adalah bangunan Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai Johor (Blok C02, C03, C04, C05 dan C06).
- iii. Jaringan rangkaian yang dibentuk adalah berdasarkan laluan navigasi yang terdapat di dalam bangunan kajian. Rangkaian yang dibina adalah rangkaian yang distruktur dan direka tanpa mengambil kira sebarang

halangan (*obstacle/barrier*) atau pun faktor-faktor navigasi yang lain. Ini kerana, tujuan utama rangkaian yang dibina adalah untuk digunakan bersama algoritma kajian.

- iv. Bagi tujuan paparan 3D, enjin komputer 3D (*3D State*) digunakan sebagai alat visualisasi dan navigasi 3D.

## 1.6 Kepentingan Kajian

Kajian ini bertujuan untuk memberikan beberapa sumbangan kepada bidang GIS. Ia merupakan salah satu kajian awal dalam mewujudkan GIS berbentuk 3D, mengurus dan menganalisis data 3D. Kajian ini boleh dijadikan rujukan awal kepada penyelidik-penyelidik yang lain bagi mewujudkan GIS yang lebih baik, terutamanya bagi aspek analisis seperti analisis rangkaian. Kajian ini juga dijalankan berdasarkan objek 3D sebenar yang mana keberkesanan penggunaan algoritma dapat diuji untuk kajian lanjutan.

Kajian ini juga dapat membantu penyelidikan yang berkaitan pengurusan bencana (*disaster management*) terutamanya dalam persekitaran bangunan. Ini kerana bagi bangunan bertingkat proses “*evacuation*” adalah kriteria yang utama dan perlu dilakukan dengan pantas dan efisien. Oleh kerana kajian ini adalah untuk proses navigasi dalam bangunan bertingkat, maka ia bersesuaian bagi navigasi kecemasan di dalam bangunan bertingkat ketika berlaku sebarang bencana seperti kebakaran, gempa bumi dan sebagainya.

Algoritma Dijkstra pula terkenal sebagai salah satu kaedah penyelesaian bagi permasalahan di dalam bidang sains komputer. Terdapat tiga faktor utama yang menjadikan ia terkenal di dalam bidang tersebut:

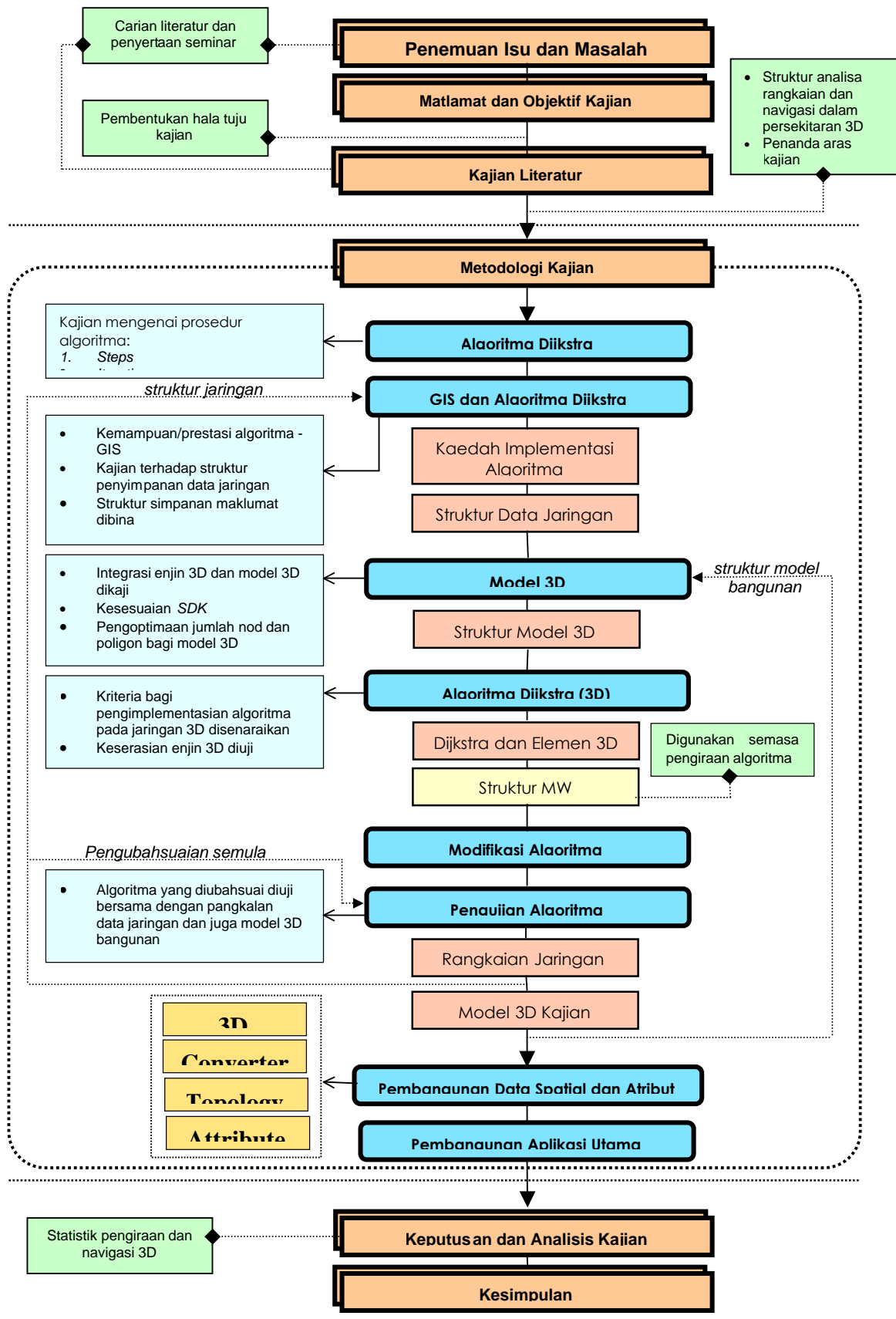
- i. Pencipta algoritma ini ialah seorang saintis komputer,
- ii. Ia memerlukan struktur data yang berlainan (*special data*),
- iii. Terdapat persaingan antara *operation research* (OR/MS) untuk mengorientasikan algoritma yang menyelesaikan masalah bagi laluan terpendek tersebut.

Namun begitu algoritma ini menjadi semakin terkenal digunakan di dalam bidang-bidang aplikasi praktikal lain yang memerlukan kemampuan algoritma ini. Contohnya bidang GIS sendiri memerlukan *online computing* dan penunjuk arah di dalam navigasi. Pihak Microsoft juga mempunyai pasukan penyelidik yang membuat kajian mengenai *shortest path* ini (Dijkstra's Algorithm, 2005). Implementasi algoritma Dijkstra kebanyakannya dibuat terhadap permukaan 2D. Oleh itu, kajian di dalam tesis ini adalah untuk mengimplementasikan algoritma Dijkstra ke dalam dunia GIS sebenar untuk mencari laluan terpendek/terdekat (*shortest route*) dari satu lokasi ke lokasi yang lain (lokasi destinasi) bagi objek yang berada di dalam persekitaran 3D. Tambahan pula, kajian ini membuat percubaan untuk menggunakan algoritma ini ke dalam persekitaran 3D di mana ianya adalah satu cabaran baru bagi algoritma ini sendiri. Penggunaan algoritma ini terhadap jaringan jalanraya sebenar, telah terbukti adalah di antara yang terpanas, Zhan (2001).

## **1.7 Metodologi Kajian**

Bagi mencapai tujuan dan objektif kajian berdasarkan skop yang telah dinyatakan, satu pendekatan atau metodologi kajian yang baik dan tepat amat diperlukan. Sehubungan dengan itu, Rajah 1.1 menunjukkan carta alir pelaksanaan kajian dalam tesis ini. Ianya menyatakan pemahaman masalah, penetapan tujuan dan objektif kajian, metodologi, keputusan dan analisis serta kesimpulan kajian.





Rajah 1.1: Carta alir pelaksanaan kajian

## **1.8 Struktur Penulisan Tesis**

Penulisan kajian ini dibahagikan kepada enam bab. Kandungan rumusan perbincangan bab-bab adalah seperti berikut:

### **a) Bab satu**

Bab ini berkaitan dengan pengenalan terhadap kajian yang menghuraikan permasalahan kajian, tujuan dan objektif kajian, skop kajian dan juga kepentingan kajian. Penerangan metodologi dan hasil akhir kajian turut dinyatakan secara umum di dalam bab ini

### **b) Bab dua**

Bab kedua membincangkan beberapa kajian literatur yang dilaksanakan sepanjang kajian. Permasalahan dalam kajian yang berkaitan dikenal pasti dan penelitian terhadap struktur jaringan rangkaian 3D yang sedia ada dirujuk bagi tujuan implementasi navigasi di dalam bangunan kajian. Enjin 3D yang digunakan sebagai alat paparan navigasi 3D diterangkan dalam bab ini bagi melihat ciri-ciri dan prestasi enjin tersebut. Selain itu, cadangan seperti penggunaan algoritma yang sesuai berdasarkan jenis jaringan rangkaian turut dititik beratkan di dalam bab ini.

### **c) Bab tiga**

Bab ini tertumpu kepada pemahaman algoritma Dijkstra dan kaedah pengimplementasian algoritma tersebut terhadap jaringan rangkaian 3D. Ciri-ciri algoritma diterangkan bagi melihat kebolehlaksanaannya ke atas jaringan rangkaian sebenar. Perbincangan mengenai cara penyelesaian laluan terpendek dalam beberapa bidang (teknik penyelidikan operasi dan analisa rangkaian) juga diterangkan di dalam bab ini.

## RUJUKAN DAN BIBLIOGRAFI

- Alias Abdul Rahman (2004). *Perbincangan peribadi*. Tidak diterbitkan, Jabatan Geoinformatik, Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia.
- Alias Abdul Rahman (2005). *Tutorial workshop*. Tidak diterbitkan, International Symposium & Exhibition on Geoinformation 2005, ISG 2005.
- Africawala, A., Castillo, J. dan Schubert, J. (2004). GIS Management and Implementation. *GISC/POEC 6383*: 30 Oktober 2004. Dallas, 1-15 .
- Ahuja, R., Mehroon, K., Orlin, J. dan Tarjan, R. (1990). Faster Algorithms for the Shortest Path Problem. *Journal of the ACM (JACM)*. 37 (2). 213 – 223.
- Alter, S. (2002). *Information System Foundation of E-Business*. (4<sup>th</sup> ed). Pearson Education International: Prentice Hall.
- ESRI (2005). *Manual Perisian ArcGIS 9*. Earth Science Research Institute, Redlands California: ESRI.
- Balstrom, T. (2001). *Identifying Least Cost Routes in Mountainous Terrain*. Tidak diterbitkan. Earth Science Research Institute, Redlands California.
- Billen, R. dan Zlatanova, S. (2003). *3D Spatial relationships model: A usefull concept for 3D Cadastre?*. Paul Longley. *Computers, Environment and Urban Systems*. 411-425(15). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Carlsson, C. dan Hagsand, O. (1993). DIVE - A Multi-User Virtual Reality System. *Virtual Reality Annual International Symposium*. 18-22 September 1993. Seattle, WA, USA: 394-400.
- Chen, X., Meaker, J. W. dan Zhan, F. B. (2005). Agent-Based Modeling and Analysis of Hurricane Evacuation Procedures for the Florida Keys. *Natural hazards*. 38 (3). 321-338. Springer.

- Cherkassy, B., Goldberg, A. dan Radzik, T. (1994). Shortest Paths Algorithms: Theory and Experimental Evaluation. *Symposium on Discrete Algorithms*. 1994. Arlington, Virginia, United States. 516 - 525.
- Coors, V. (2001). *3D-GIS in networking Environments*. Paul Longley. *Computers, Environment and Urban Systems*. 345-357(13). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J. dan DeFanti, T. (1993). Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. 1993. New York, 135 – 142.
- Dial, R. dan Alan (1969). Algorithms Shortest path Forest with Topological Ordering. *Communications of the ACM*. November 1969. New York, 632 – 633.
- Dijkstra, E.W. (1959). *A note on two problems in connection with graphs*. Dijkstra, E.W. *Numerische matematik* (269-271). Amsterdam, The Netherlands: ET AS
- Dijkstra's Algorithm (2005) - *Lecture Note*.  
<http://www.ms.unimelb.edu.au/~moshe/620-261/dijkstra/dijkstra.html>
- Eklund, P., Kirkby, S. dan Pollitt, S. (1993). A Dynamic Multi-source Dijkstra's Algorithm for Vehicle Routing. *Intelligent Information Systems, Australian and New Zealand Conference*. 18-20 November 1993. Adelaide, SA, Australia, 329-333.
- Garvey, M., Jackson, M. dan Roberts, M. (2000). An Obeject Oriented GIS. *Proceeding of Net.Object Days 2000*. Oktober 9-12 2000. Erfurt, Germany, 604-613.
- Gilliéron, P. dan Merminod, B. (2003). Personal Navigation System for Indoor Applications. *11th IAIN World Congress*. 21-24 Oktober 2003. Berlin, Germany, 1-15.
- Gilliéron, P., Büchel, D., Spassov, I. dan Merminod, B. (2004). Indoor Navigation Performance Analysis. *GNSS 2004*. 17-19 Mei 2004. Rotterdam, The Netherlands, 1-9.
- Haron, H., Alwee, R. dan Sallehuddin, R. (2004). *Teknik Penyelidikan Operasi. Jabatan pemodelan & Pengkomputeran Industri*. Tidak diterbitkan, Fakulti Sains Komputer dan Sistem Maklumat, UTM Skudai, Johor.
- Johnson, D. (1973). A Note on Dijkstra's Shortest Path Algorithm. *Journal of the ACM*. 20 (3), 385-388.

- Karas, I., Batuk, F., Akay, A., Baz, I. (2006). Automatically Extracting 3D Models and Network Analysis for Indoors. *1st. International Workshop on 3D Geoinformation 2006*. 7-8 Ogos 2006. Kuala Lumpur, Malaysia, 1-10.
- Kerlow, I. (2004). *The Art of 3D Computer Animation*. San Francisco, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Kirkby, S.D., Pollitt, S. E. P. dan Eklund, P. W (1996). *Implementing a Shortest Path Algorithm in a 3D GIS Environment*. Adelaide, Australia: Taylor and Francis.
- Kwan, M. P. dan Lee, J. (2003). Emergency response after 9/11: the potential of real-time 3D GIS for quick emergency response in micro-spatial environments. *International Journal of Geographical Information Science*. 19(10), 1039-1056.
- Lee, J. (2002). A Spatial Access Oriented Implementation of a Topological Data Model for 3D Urban Entities. *Geoinformatica*. 8 (3), 237 – 264.
- Lee, J. (2005). 3D GIS in Support of Disaster Management in Urban Areas. *101<sup>st</sup> AAG Annual Conference*. 5-9 April 2005. Denver, 1-10.
- Meijers, M., Zlatanova, S. dan Pfeifer, N. (2005). 3D Geo-information indoors: structuring for evacuation. *Proceedings of the First International Workshop on Next Generation 3D City Models*. 2005. Bonn, Germany, 11-16.
- Nebiker, S. (2003). Support for Visualisation and Animation in a Scalable 3D GIS Environment – Motivation, Concepts And Implementation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2003. Istanbul, 1-6.
- Pu, S. dan Zlatanova, S. (2004). Evacuation Route Calculation of Inner Buildings. *First International Symposium on Geo-information for Disaster Management*. 21-23 Mac 2004. Delft, The Netherlands, 1143-1161.
- Semanta, S., Jha, M. K. dan Oluokun, C. (2005). Travel Time Calculation with GIS in Rail Station Location Optimization. *2005 ESRI User Conference Proceedings*. 23-September 2005. USA: 1-9.
- Shad, R., Ebadi, H. dan Ghods, M. (1998). *Evaluation of route finding methods in GIS application*. Tidak diterbitkan, Department of Geodesy and Geomatics Eng. K. N. Toonsi University of Technology, Tehran, Iran.
- Sherlock, R., Mooney, P., Winstanley, A. (1999). Shortest Path Computation: A Comparative Analysis. *GISRUUK*. April 1999. Sheffield, UK, 91-94.
- Smith, G. dan Friedman, J. (2004). 3D GIS: A Technology Whose Time Has Come. *Earth Observation Magazine*. November 2004, 1-4.

- Steuer, J. (1993). Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*. 42 (4), 73 - 93.
- Stoter, J. dan Zlatanova S. (2003). Visualization and editing of 3D objects organized in a DBMS. *Proceedings of the EuroSDR*. 2003. Delft, The Netherlands, 1-16.
- Stoter, J., Salzmann, M., Oosterom, P. dan Molen, P. (2002). Towards a 3D Cadastre. *FIG XXII International Congress*. 19-26 April 2002. Washington, D.C. USA, 1-12.
- Takino, S. (2000). *Topological network model for improving urban 3D data use*. Tidak diterbitkan, Dawn Corporation, Minatojima-minamimachi, Chuo-ku, Kobe, Japan.
- Treeck, C. dan Rank, E. (2004). *Analysis of Building Structure and Topology Based on Graph Theory*. Tidak diterbitkan, Lehrstuhl für Bauinformatik, Technische Universität München
- Verbree, E., Maren, G., Germs, R., Jansen, F. dan Kraak, M. J. (1999). Interaction in Virtual World Views - Linking 3D GIS with VR. *International Journal of Geographical Information Science*. 13 (4), 385-396(12).
- [Weisstein dan Eric, W.](http://mathworld.wolfram.com/Four-DimensionalGeometry.html) (2004). *Four-Dimensional Geometry*. *MathWorld*--A Wolfram. <http://mathworld.wolfram.com/Four-DimensionalGeometry.html>
- Wikipedia Encyclopedia (Ogos, 2005). *Dijkstra's algorithm*. [http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm).
- Wüst, T., Nebiker, S. dan Landolt, R. (2004). Applying the 3D GIS Dilas to Archaeology and Cultural Heritage Projects – Requirements and First Results. *XXth ISPRS Congress*. 12-23 Julai 2004. Istanbul, Turkey, 1-6.
- Zhan, F. B. (2001). Three Fastest Shortest Path Algorithms on Real Road Networks: Data Structures and Procedures. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*. 1 (1), 70–82.
- Zlatanova, S. (2002). *Advances in 3D GIS*. Tidak diterbitkan. Delft University of Technology, the Netherlands.
- Zlatanova, S., Abdul Rahman, A., Pilouk, M. (2002). 3D GIS: Current Status and Perspectives. *Proceedings of ISPRS*. 8-12 Julai 2002, Ottawa, Canada, 1-6.